

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2020.04.006

# 基于和谐论的黄河兰州段河道采砂影响评价

贡 力<sup>1,2</sup>, 王 婧<sup>1</sup>, 靳春玲<sup>1</sup>, 陆丽丽<sup>1</sup>, 魏晓悦<sup>1</sup>

(1. 兰州交通大学土木工程学院, 甘肃 兰州 730070;  
2. 兰州交通大学调水工程及输水安全研究所, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 针对黄河兰州段河道采砂带来的安全问题, 从河势稳定、防洪安全、水环境安全三方面建立河道采砂影响综合评价指标体系, 采用改进的 G2 法和 CRITIC 法对评价指标进行主客观组合赋权, 基于和谐论建立评价模型对 2013—2018 年黄河兰州段河道采砂影响进行了综合评价。结果表明, 黄河兰州段河道采砂对河道安全及水环境安全带来不利的影响, 在一定时期内需要对黄河兰州段河砂开采进行控制和预防, 以避免对河道安全及水环境安全造成进一步的破坏。

**关键词:** 河道采砂; 和谐论; 组合赋权; 黄河兰州段

中图分类号: TV213.4; TV882.1 文献标志码: A 文章编号: 1004-6933(2020)04-0034-06

**Impact assessment of river sand mining in Lanzhou reach of Yellow River based on harmony theory**// GONG Li<sup>1,2</sup>, WANG Jing<sup>1</sup>, JIN Chunling<sup>1</sup>, LU Lili<sup>1</sup>, WEI Xiaoyue<sup>1</sup> (1. School of Civil Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China; 2. Research Institute of Water Diversion Engineering and Water Conveyance Safety, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** In view of the safety problem caused by river sand mining in Lanzhou section of the Yellow River, we established a comprehensive evaluation index system of the influence of river sand mining from the aspects of river regime stability, flood control safety and water environment safety. An improved G2 method and CRITIC method were adopted to conduct combination weighing towards the evaluation indexes subjectively and objectively. Based on the harmony theory, an evaluation model was established to evaluate the influence of river sand mining in Lanzhou reach of the Yellow River from 2013 to 2018. The results indicate that the river sand mining in Lanzhou reach of the Yellow River is harmful to the safety of the Yellow River and the environment, so it is necessary to control and prevent river sand mining in Lanzhou reach of the Yellow River in a certain period of time, avoiding further damage to the safety of river and environment caused by river sand mining.

**Key words:** river sand mining; harmony theory; combination weighing; Lanzhou section of the Yellow River

“人水和谐”观念是可持续发展观在水资源领域的重要体现<sup>[1]</sup>, 随着城乡建设的快速推进和经济社会的不断发展, 对河道砂石资源的需求日益增加, 如何贯彻落实“人水和谐”观念, 推动黄河流域高质量发展, 是当前黄河治理面临的一项重大课题。近年来, 河道无序采砂现象造成的河道流路和流速改变, 流量和水量分配失调, 水位变化等一系列问题, 给河道安全, 包括河势稳定以及防洪、通航、供水和水生态等方面带来了严重影响。因此, 对黄河兰州段河砂开采的影响进行综合评价, 对河道稳定及周围环境保护和生态安全具有重要意义。

基于保障河道安全的砂石资源优化利用的相关研究起步虽然较晚, 但已取得了很多研究成果。Neyshabouri 等<sup>[2]</sup>对河沙均匀沉积的河床中矩形矿坑的迁移和纵向剖面变化情况进行了试验研究, 发现迁移速度与矿坑的长宽比相关, 而且对流期迁移速度高于扩散期; Lanzoni 等<sup>[3]</sup>采用一维河床模型对意大利波河(Po River)采砂河段达到冲淤动态平衡的条件进行了数值模拟, 分析了河道未来发展趋势; Bhattacharya 等<sup>[4]</sup>分析了河道采砂对印度 South Bengal 河河道水质以及河内生物群的影响; 王卓甫等<sup>[5]</sup>提出应当控制砂石开采量来调控砂石价格, 并

基金项目: 国家自然科学基金(51969011, 51669010)

作者简介: 贡力(1977—), 男, 教授, 博士, 主要从事水环境及输水安全研究。E-mail: gongl@mail.lzjtu.cn

构造了年度开采量和规划期内多年开采量的优化模型;江丰等<sup>[6]</sup>采用定量分析方法研究了2001—2010年鄱阳湖河道采砂的水文效应和水体泥沙效应;于合理等<sup>[7]</sup>通过数值模拟的方法研究了河道采砂对河床的影响程度;胡巍巍<sup>[8]</sup>通过比较采砂前后平均水位变化,分析了韩江河道采砂对其生态环境及水文地质的影响。目前,对于河道采砂影响的研究以定性分析较多,需要进一步的深入探讨。本文基于和谐论,通过建立河道采砂影响综合评价指标体系,运用改进的G2和CRITIC赋权法进行主客观组合赋权确定指标权重,对黄河兰州段河道采砂对河道安全及环境安全的影响进行评价,以期对相关研究提供参考。

## 1 研究区概况与数据来源

甘肃兰州位于黄河中上游,黄河自西向东穿城而过。黄河兰州段西起八盘峡东至乌金峡,全长152 km,其中市区段西起西柳沟,东至桑园峡,全长45 km。上游距离兰州铁桥45 km、62 km、93 km处分别建有八盘峡、盐锅峡、刘家峡三大水库,自西向东设有28个水文大断面,峡谷地段河道比较窄,因此水流较急,川地河段河道宽浅,水流较为缓慢。河段河床多由砂卵石组成,其纵向基本处于稳定状态,冲淤变化较小。

黄河兰州段河道采砂主要集中于安宁区、七里河区、皋兰县等地区,主要采砂场有兰州市安宁黄河采砂厂、兰州市七里河区崔家崖迎门滩采砂厂等。通过对采砂船的类型、数量、分布等进行实地调查,并采用奥维高清卫星地图进行校正可知,黄河兰州段冲吸式抽砂船年均采砂量约为2.0万 $m^3$ ,链斗式挖砂船年均挖砂量约为4.0万 $m^3$ ,经两次现场统计计算,黄河兰州段的采砂船总数为39台,其中冲吸式36台、链斗式3台,因此年采砂总量约为84万 $m^3$ 。考虑到部分砂场位置隐秘或者不允许调查人员进入,结合《黄河泥沙公报》中数据估算黄河兰州段实际年采砂总量约107万 $m^3$ 。

由于河势条件、河岸岸坡坡比、河床冲淤变幅、防洪标准适应性、防洪调节能力指数等评价指标难以量化,因此通过专家打分法获得相关评价指标数据,其余数据通过查询《黄河水资源公报》《黄河泥沙公报》《兰州市统计年鉴》等统计资料获得,共收集了2013—2018年16项评价指标的基础数据。

## 2 评价方法与指标体系

### 2.1 组合赋权法

本文通过基尼系数改进的G2法进行主观赋

权,通过标准差系数改进的CRITIC法进行客观赋权,结合拉格朗日最优乘法进行优化组合赋权。该方法弥补了主观赋权和客观赋权各自的不足,使评价指标权重分配更加合理。

#### 2.1.1 基尼系数改进的G2法

G2法即唯一参照物比较判断法,是一种主观赋权法,它可以直观地体现专家的主观观点以及风险意识<sup>[9]</sup>。基尼系数是经济学中衡量收入差距的指标,本文用于衡量评价指标数据间的差异程度。采用G2赋权法并引入基尼系数的概念,将专家赋予评价指标的重要程度之比替代为评价指标基尼系数之比,可减少专家赋权人为干扰的程度。

从评价指标集 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 中选择一个相对于其他评价指标最不重要的评价指标作为参照物,记为 $x_i$ 。以 $x_i$ 为参照物,利用两个评价指标的基尼系数之比确定其余评价指标相对于 $x_i$ 的重要程度。最后依次计算集合 $X$ 中各个评价指标权重。计算步骤如下<sup>[9-11]</sup>:

a. 设 $G_i$ 为评价指标 $x_i$ ( $i = 1, 2, \dots, n$ )的基尼系数, $m$ 为评价指标 $x_i$ 的数据个数, $y_{ip}$ 为评价指标数据从小到大排序后的第 $p$ 个数据, $y_{iq}$ 为第 $p$ 个数据以外的任意数据, $Y_i$ 为评价指标 $x_i$ 所有数据之和,则有:

$$G_i = \frac{1}{mY_i} \sum_{p=2}^m \sum_{q=1}^{p-1} |y_{ip} - y_{iq}| \quad (1)$$

b. 根据基尼系数确定评价指标 $x_i$ 与 $x_i$ 相对重要程度的客观赋值:

$$k_i = G_i / G_i \quad (2)$$

式中 $G_i$ 为 $x_i$ 的基尼系数。

c. 评价指标 $x_i$ 的主权重为

$$w_{i,1} = k_i / \sum_{i=1}^n k_i \quad (3)$$

#### 2.1.2 标准差系数改进的CRITIC法

CRITIC法是一种客观赋权法。CRITIC法确定评价指标客观权重,通常是用评价指标对比强度和评价指标冲突性两个量来衡量。评价指标对比强度通常用评价指标的标准差来表示,标准差越大,说明评价指标之间的差异越大,评价指标所获得的权重也越大。评价指标冲突性用评价指标相关系数来表示,相关系数越大评价指标的冲突性就越小,说明评价指标表示的信息量重复性越大,因此评价指标获得的权重越小。由此可见,CRITIC法相比信息熵法权重计算更加准确、客观。改进后的CRITIC法计算步骤如下:

a. 对评价指标数据进行标准化处理,本文采用极差法,具体公式在此不做赘述。

b. 计算评价指标包含的信息量。设  $C_i$  为评价指标  $x_i$  所包含的信息量, 则  $C_i$  可以表示为

$$C_i = \delta_i \sum_{j=1}^n (1 - r_{ij}) \quad (j = 1, 2, \dots, n; j \neq i) \quad (4)$$

式中:  $\delta_i$  为评价指标  $x_i$  的标准差;  $r_{ij}$  为评价指标  $x_i$  和评价指标  $x_j$  的相关系数。  $C_i$  越大, 评价指标  $x_i$  包含的信息量越大, 该评价指标的相对重要性也就越大。由于相关系数表示的正相关和负相关所反映的评价指标间的相关程度是相同的, 因此可采用相关系数的绝对值来代替相关系数进行计算<sup>[12]</sup>。由于各评价指标量纲、数量级不同, 计算得到的标准差并不能很好地反映评价指标的变异性, 因此可以采用标准差系数来表示。改进后的信息量计算公式<sup>[12]</sup>为

$$C_i = \frac{\delta_i}{\mu_i} \sum_{j=1}^n (1 - |r_{ij}|) \quad (5)$$

式中  $\mu_i$  为评价指标  $x_i$  的平均值。

c. 计算评价指标权重。评价指标  $x_i$  的客观权重为

$$w_{i,2} = C_i / \sum_{i=1}^n C_i \quad (6)$$

### 2.1.3 组合赋权

通过改进的 G2 法得到主观权重, 通过改进的 CRITIC 法得到客观权重, 最终得到评价指标  $x_i$  的综合权重  $w_i = w_{i,1}w_{i,2} / \sum_{i=1}^n w_{i,1}w_{i,2}$ 。为了使最后的综合权重更接近于主客观权重, 利用最小信息熵原理建立约束条件  $\min E = \sum_{i=1}^n w_{i,1} \left( \ln \frac{w_{i,1}}{w_{i,2}} \right) + \sum_{i=1}^n w_{i,2} \left( \ln \frac{w_{i,2}}{w_{i,1}} \right)$ , 其中  $\min E$  为最小信息熵, 优化综合权重  $w'_i$  根据约束条件用拉格朗日最优乘子法优化得到, 计算公式<sup>[10]</sup>为

$$w'_i = (w_{i,1}w_{i,2})^{1/2} / \sum_{i=1}^n (w_{i,1}w_{i,2})^{1/2} \quad (7)$$

## 2.2 和谐度方程评价模型

和谐论<sup>[13]</sup>是左其亭教授 2009 年提出的, 和谐论的定量表达即和谐度方程, 在水资源问题研究中有着广泛的应用。本文通过计算各个评价指标的子和谐度, 再对各因素加权后得到综合和谐度来综合评价黄河兰州段河道采砂影响<sup>[13-15]</sup>。

根据和谐度方程的基本理论, 前述评价指标集  $X$  中的评价指标  $x_i$  与“综合最优”评价结果(针对综合评价)之间均存在一个子和谐度  $H(x_i)$ :

$$H(x_i) = au - bv \quad (8)$$

其中  $a = \varphi(A_1, A_2)$   $b = 1 - a$

式中:  $a$  为统一度, 表示参与者在和谐条件下“相同

目标”所占的比例;  $b$  为分歧度, 表示在一定和谐条件下参与者与和谐目标之间分歧所占的比例;  $u$  为和谐系数, 用于反映和谐目标的满足程度,  $u = 1$  表示完全满足和谐目标,  $u = 0$  表示完全不满足和谐目标, 其他情况  $u$  值在 0 和 1 之间, 同统一度一样可通过建立线性函数求得;  $v$  为不和谐系数, 本文用于反映参与者对存在分歧现象的反对程度, 因此  $v = b$ ;  $\varphi(A_1, A_2)$  为和谐行为  $A_1, A_2$  两者关联度的隶属函数。参考文献[17], 当  $H(x_i) < 0$  时, 可定义  $H(x_i) = 0$ , 因此  $H(x_i)$  取值范围为  $[0, 1]$ 。

采用加权平均的方法对所有评价指标的  $H(x_i)$  值进行综合, 得到综合和谐度  $H$ :

$$H = \sum_{i=1}^n w'_i H(x_i) \quad (9)$$

## 2.3 评价指标体系

河道采砂影响涉及面较广, 通过查阅相关文献<sup>[16-20]</sup>, 并参考采砂影响实际案例可知主要包括河势稳定、防洪安全、通航安全、供水安全和水环境安全等内容。就黄河兰州段而言, 在历年供水安全事故中未见主要由于采砂影响造成的案例, 故采砂对供水安全影响较小, 同时黄河兰州段航运并不发达, 采砂对航运影响较小, 因此采砂对供水安全及航运安全的影响可不予考虑。考虑黄河兰州段实际情况, 从河势稳定、防洪安全、水环境安全三方面对河道采砂影响程度进行评价, 通过选取有代表性、综合性和可量化性的指标, 构建出包括河势稳定 5 个二级指标、防洪安全 5 个二级指标、水环境安全 6 个二级指标共 16 个二级指标的黄河兰州段河道采砂影响综合评价指标体系如表 1 所示。

表 1 黄河兰州段河道采砂影响综合评价指标体系

Table 1 Comprehensive evaluation index system of river sand mining impact in Lanzhou reach of Yellow River

黄河兰州段河道采砂影响综合评价指标体系	河势稳定	河势条件 $C_1$
		河岸岸坡比 $C_2$
		河床冲淤变幅 $C_3$
		平滩流量满足率 $C_4$
		挟沙能力变化率 $C_5$
	防洪安全	最大流量 $C_6$
		过水断面面积 $C_7$
		水面平均宽度 $C_8$
		防洪标准适应性 $C_9$
		防洪调节能力指数 $C_{10}$
	水环境安全	年均中数粒径 $C_{11}$
		年径流量 $C_{12}$
		年均含沙量 $C_{13}$
		输沙模数 $C_{14}$
		河道生态需水保证率 $C_{15}$
		水质达标率 $C_{16}$

## 2.4 评价指标等级划分

结合相关研究成果<sup>[13-15]</sup>,将评价等级划分为 I、II、III、IV、V 共 5 级,分别表示“极为有利影响、有利影响、一般影响、不利影响、极为不利影响”。等级阈值的划分标准参考了国内外各评价指标标准值以及地区发展规划要求值,将其作为中间值按一定比例进行等级划分得到等级阈值。对于无具体标准可参考的评价指标,本文结合研究区实际情况,根据专家意见和文献<sup>[14]</sup>,按一定比例划分得到其等级阈值。黄河兰州段河道采砂影响评价指标的等级阈值如表 2 所示(限于篇幅,只列出部分数据)。

## 3 评价结果与分析

### 3.1 综合评价结果

#### 3.1.1 权重计算

根据相关统计数据 and 专家打分得到 2013—2018 年各评价指标数据如表 3 所示(限于篇幅,只列出部分数据),分别运用改进的 G2 法和 CRITIC 法计算主观权重和客观权重,通过组合赋权得到各评价指标最终权重如表 4 所示。

## 3.1.2 和谐度计算

根据已有数据,通过建立相关线性函数图分别求出统一度  $a$ 、分歧度  $b$ 、和谐系数  $u$ 、不和谐系数  $v$ ,参数计算方法详见文献<sup>[13-15]</sup>,得到各评价指标子和谐度如表 5 所示。

根据式(9)对各评价指标子和谐度进行加权平均,得到 2013—2018 年综合和谐度分别为 0.165、0.116、0.216、0.166、0.198 和 0.208。和谐论所定义的和谐度取值范围为 0~1,为便于表达,以 0.2 为间隔将和谐度划分为 5 个等级:(0.8,1.0]表示极为有利影响,(0.6,0.8]表示有利影响,(0.4,0.6]表示一般影响,(0.2,0.4]表示不利影响,[0,0.2]表示极为不利影响。可见 2015 年和 2018 年黄河兰州段河道采砂对河道为不利影响,其余各年均均为极为不利影响。

### 3.2 结果分析

a. 由表 4 评价指标权重分配可知,河道采砂对河道自身河势条件、河床冲淤变幅、输沙模数等的影响是最为重要的。河道采砂使采砂河段河床下切,上游河床坡度增大,流速将会加快,进而导致河道泥沙和输送能力之间的平衡关系被打破,使河道发生

表 2 评价指标分级标准

Table 2 Classification standard of evaluation indexes

评价等级	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4/\%$	...	$C_{13}/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	$C_{14}/[\text{t} \cdot (\text{a} \cdot \text{km}^2)^{-1}]$	$C_{15}/\%$	$C_{16}/\%$
I	1(好)	1(极缓)	1(甚微)	(0,2]	...	(0,0.25]	(0,20]	(90,100]	(90,100]
II	2(较好)	2(较缓)	2(很小)	(2,5]	...	(0.25,0.40]	(20,40]	(80,90]	(80,90]
III	3(一般)	3(适中)	3(较小)	(5,10]	...	(0.40,0.55]	(40,60]	(60,80]	(70,80]
IV	4(较差)	4(较陡)	4(较大)	(10,15]	...	(0.55,0.70]	(60,100]	(40,60]	(60,70]
V	5(差)	5(极陡)	5(很大)	(15,100]	...	>0.70	>100	(0,40]	(0,60]

表 3 2013—2018 年评价指标数据

Table 3 Evaluation index data from 2013 to 2018

年份	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4/\%$	...	$C_{13}/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	$C_{14}/[\text{t} \cdot (\text{a} \cdot \text{km}^2)^{-1}]$	$C_{15}/\%$	$C_{16}/\%$
2013 年	2	4	2	3.2	...	0.408	60.2	71.5	83.3
2014 年	3	3	3	2.6	...	0.391	54.4	79.1	81.7
2015 年	2	3	1	4.1	...	0.353	42.3	80.1	88.3
2016 年	1	3	2	2.3	...	0.654	69.2	73.3	85.0
2017 年	1	3	1	2.3	...	0.347	39.8	83.3	83.3
2018 年	1	3	2	2.5	...	0.372	43.6	74.9	86.1

表 4 评价指标权重

Table 4 Weight of evaluation indexes

指标	G2 法权重	CRITIC 法权重	组合权重	指标	G2 法权重	CRITIC 法权重	组合权重
$C_1$	0.143	0.058	0.100	$C_9$	0.064	0.051	0.063
$C_2$	0.032	0.054	0.046	$C_{10}$	0.062	0.045	0.058
$C_3$	0.143	0.047	0.090	$C_{11}$	0.119	0.049	0.084
$C_4$	0.080	0.080	0.088	$C_{12}$	0.061	0.073	0.073
$C_5$	0.058	0.048	0.058	$C_{13}$	0.080	0.060	0.076
$C_6$	0.033	0.045	0.042	$C_{14}$	0.075	0.091	0.091
$C_7$	0.007	0.056	0.022	$C_{15}$	0.020	0.082	0.044
$C_8$	0.013	0.077	0.035	$C_{16}$	0.009	0.085	0.030

表5 评价指标子和谐度

Table 5 Single factor harmony degree of each evaluation index

指标	$H(C_i)$					
	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年
$C_1$	0.20	0.00	0.20	0.20	0.20	0.20
$C_2$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$C_3$	0.20	0.00	0.20	0.35	0.20	0.35
$C_4$	0.34	0.37	0.28	0.39	0.39	0.38
$C_5$	0.06	0.00	0.15	0.11	0.08	0.07
$C_6$	0.00	0.00	0.01	0.02	0.08	0.05
$C_7$	0.33	0.29	0.21	0.31	0.23	0.26
$C_8$	0.18	0.10	0.01	0.00	0.04	0.09
$C_9$	0.00	0.00	0.20	0.20	0.20	0.20
$C_{10}$	0.00	0.00	0.06	0.00	0.04	0.02
$C_{11}$	0.33	0.21	0.46	0.36	0.48	0.41
$C_{12}$	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$C_{13}$	0.22	0.13	0.23	0.00	0.23	0.22
$C_{14}$	0.10	0.11	0.31	0.00	0.20	0.16
$C_{15}$	0.20	0.39	0.25	0.24	0.31	0.26
$C_{16}$	0.23	0.61	0.93	0.44	0.23	0.57

显著的地形地貌变化。

b. 由表5评价指标子和谐度可知,总体而言,采砂对各评价指标不利影响居多,对部分评价指标造成的影响极大。除2014年外,采砂对河势条件的影响基本无变化,河道的演变是一个长期的过程,短时间内并不能表现出显著变化;河岸岸坡比和谐度各年均均为0.00,表明采砂对河岸岸坡比不利影响较大,采砂对河岸稳定性影响较大,应重点进行预防;河床冲淤变幅是反映河床稳定性的评价指标,其和谐度变化较大,分析可能是采砂坑位置及是否及时回填影响泥沙量和泥沙沉积导致的;平滩流量满足率和挟沙能力变化率各年的和谐度变化幅度不大,但分析其仍处于不利影响,和谐度变化可能与采砂量和年降水量等因素有关;最大流量的和谐度偏低,其影响因素除采砂外可能还与防洪能力有关;过水断面面积、水面平均宽度各年的和谐度变化幅度不大,但过水断面面积和水面平均宽度的变化必定会对防洪安全有所影响,尤其是对沿河工程影响更为严重;防洪标准适应性和防洪调节能力指数是遭遇洪水时预防和泄洪能力的反映,应注意采砂对岸坡和河床的影响,避免出现沿岸建筑物地基失稳以及水电站泄洪调节不及时的情况;年均中数粒径是沙粒粗细的反映,对水体浑浊度有重要影响,其和谐度反映出的影响为一般或轻微不利;年径流量影响因素主要为水流流速和断面面积,除2013年外各年和谐度均为0.00,表明采砂对其影响极为不利,应予以重点关注;流速变化使得水流可输送的泥沙量随之变化,造成了年均含沙量及输沙模数两个评价

指标的和谐度不断变化;河道生态需水保证率和水质达标率对河道生态系统极为重要,采砂方式和采砂机械都有可能对部分水体造成污染,应以预防为主。

c. 从综合和谐度来看,除2015年和2018年河道采砂影响程度为不利影响外,其余各年均均为极为不利影响。说明河道采砂对黄河兰州段河势稳定、防洪安全、水环境安全并无益处,除为疏通部分河道等进行的公益性采砂外,在一定时期内不宜再进行河砂开采,应当重点以生态恢复为主,避免采砂对河道安全及水环境安全造成进一步的破坏。

## 4 结 语

本文通过建立黄河兰州段河道采砂影响综合评价指标体系,运用基尼系数改进的G2法和标准差系数改进的CRITIC法对评价指标组合赋权,基于和谐论建立了评价模型对黄河兰州段2013—2018年河道采砂影响进行了综合评价,得到了各评价指标子和谐度以及各年综合和谐度,由此分析出了河道采砂影响程度等级。由最终评价结果可知,2013年、2014年、2016年、2017年黄河兰州段河道采砂影响评价等级为极为不利影响,2015年和2018年为不利影响。这表明黄河兰州段河道采砂对河道安全及水环境安全有破坏作用,与黄河兰州段实际情况相符,在一定时期内需要对黄河兰州段河道采砂进行控制和预防,避免采砂对河道安全及水环境安全造成进一步破坏。本文基于和谐论建立评价模型,相比传统评价方法更加简单灵活,能够准确分析系统存在的和谐因素,判定系统子和谐度及系统整体和谐程度,在河道采砂影响评价中具有推广价值。

## 参考文献:

- [1] 左其亭,马军霞,陶杰. 现代水资源管理新思想及和谐论理念[J]. 资源科学,2011,33(12):2214-2220. (ZUO Qiting, MA Junxia, TAO Jie. New thoughts of modern water management and harmony ideas[J]. Resources Science, 2011,33(12):2214-2220. (in Chinese))
- [2] NEYSHABOURI S A A S, FARHADZADEH A, AMINI A. Experimental and field study on mining-pit migration [J]. International Journal of Sediment Research, 2002, 17(4):323-331.
- [3] LANZONI S, LUCHI R, PITTALUGA M B, et al. Modeling the morphodynamic equilibrium of an intermediate reach of the Po River (Italy) [J]. Advance in Water Resources, 2015, 81:95-102.
- [4] BHATTACHARYA R K, CHATTERJEE N D, DOLUI G. Consequences of sand mining on water quality and instream biota in alluvial stream; a case-specific study in

- South Bengal River, India [J]. Sustainable Water Resources Management, 2019, 5(4): 1815-1832.
- [5] 王卓甫, 杨高升, 陈朵, 等. 基于河道安全的河道砂石资源优化利用模型[J]. 水利学报, 2013, 44(8): 958-965. (WANG Zhuofu, YANG Gaosheng, CHEN Duo, et al. Optimal model for river sand resource utilization based on river safety [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 44(8): 958-965. (in Chinese))
- [6] 江丰, 齐述华, 廖富强, 等. 2001—2010 年鄱阳湖采砂规模及其水文泥沙效应[J]. 地理学报, 2015, 70(5): 837-845. (JIANG Feng, QI Shuhua, LIAO Fuqiang, et al. Hydrological and sediment effects from sand mining in Poyang Lake during 2001-2010 [J]. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(5): 837-845. (in Chinese))
- [7] 于合理, 夏叶, 王之晗, 等. 采砂坑纵剖面尺寸对卵石河道河床演变影响数值试验: 以石亭江双盛段为例[J]. 工程科学与技术, 2017, 49(增刊 2): 83-91. (YU Heli, XIA Ye, WANG Zhihan, et al. Numerical simulation study on effect of different longitudinal profile dimensions of sandpit on riverbed evolution of pebble channel: a case of Shuangsheng section of Shiting River [J]. Advanced Engineering Sciences, 2017, 49(Sup2): 83-91. (in Chinese))
- [8] 胡巍巍. 韩江中下游河道采砂对河流水文与生态环境的影响[J]. 湿地科学, 2016, 14(2): 157-162. (HU Weiwei. Impact of river sand mining in riverway on hydrology and ecological environment of middle and lower reaches of Hanjiang River [J]. Wetland Science, 2016, 14(2): 157-162. (in Chinese))
- [9] 贾博婷, 赵天威, 祝志川. 基于熵值修正 G2 赋权的综合评价方法及实证[J]. 统计与决策, 2019, 35(8): 30-35. (JIA Boting, ZHAO Tianwei, ZHU Zhichuan. Comprehensive evaluation method based on entropy value correction G2 weighting and its empirical analysis [J]. Statistics & Decision, 2019, 35(8): 30-35. (in Chinese))
- [10] 马纪, 刘希喆. 基于 G2-熵权法的低压配网台区状态特性评估[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(1): 41-46. (MA Ji, LIU Xizhe. Conditional characteristic evaluation based on G2-entropy weight method for low-voltage distribution network [J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(1): 41-46. (in Chinese))
- [11] 章恒全, 杨雅婷, 张陈俊. 基于基尼系数的湖北省用水公平性研究[J]. 水利经济, 2019, 37(1): 1-6. (ZHANG Hengquan, YANG Yating, ZHANG Chenjun. Fairness of water utilization in Hubei Province based on Gini coefficient [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2019, 37(1): 1-6. (in Chinese))
- [12] 祝志川, 张国超, 张君妍. 基于改进 CRITIC 的修正 G2 赋权方法及实证[J]. 统计与决策, 2018, 34(18): 33-38. (ZHU Zhichuan, ZHANG Guochao, ZHANG Junyan. Modified-G2 weighting method based on improved CRITIC and its solid evidence [J]. Statistics & Decision, 2018, 34(18): 33-38. (in Chinese))
- [13] 左其亭. 和谐论的数学描述方法及应用[J]. 南水北调与水利科技, 2009, 7(4): 129-133. (ZUO Qiting. Mathematical description method and its application of harmony theory [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2009, 7(4): 129-133. (in Chinese))
- [14] 左其亭, 韩春辉, 马军霞, 等. 和谐度方程 (HDE) 评价方法及应用[J]. 系统工程理论与实践, 2017, 37(12): 3281-3288. (ZUO Qiting, HAN Chunhui, MA Junxia, et al. Evaluation methodology of harmony degree equation (HDE) and its application. [J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2017, 37(12): 3281-3288. (in Chinese))
- [15] 孟珍珠, 唐德善, 魏宇航, 等. 和谐论在水资源承载力综合评价中的应用[J]. 水资源保护, 2016, 32(3): 54-58. (MENG Zhenzhu, TANG Deshan, WEI Yuhang, et al. Application of harmony theory to evaluation of water resources carrying capacity [J]. Water Resources Protection, 2016, 32(3): 54-58. (in Chinese))
- [16] 高耶, 谢永宏, 邹冬生. 采砂对河道生态环境的影响及对策综述[J]. 泥沙研究, 2017, 42(2): 74-80. (GAO Ye, XIE Yonghong, ZOU Dongsheng. Review on environmental effects and management to sand and gravel mining [J]. Journal of Sediment Research, 2017, 42(2): 74-80. (in Chinese))
- [17] 乔飞, 孟伟, 张万顺, 等. 人工采砂对东江干流局部河段河床冲淤的影响研究[J]. 泥沙研究, 2010(2): 64-69. (QIAO Fei, MENG Wei, ZHANG Wanshun, et al. Study on the effect of river sand mining on the local riverbed variation in the Dongjiang River [J]. Journal of Sediment Research, 2010(2): 64-69. (in Chinese))
- [18] 张俊宏, 王业祥, 赵正伟, 等. 长江中游黄州河段采砂影响分析[J]. 水利水运工程学报, 2016(5): 70-77. (ZHANG Junhong, WANG Yexiang, ZHAO Zhengwei, et al. Impact analysis of sand mining of Huangzhou reach in middle Yangtze River [J]. Hydro-Science and Engineering, 2016(5): 70-77. (in Chinese))
- [19] 李勋贵, 王晓磊, 苏贤保. 黄河上游河道一维河道水温模型和经验公式法对比[J]. 水资源保护, 2019, 35(4): 24-29. (LI Xungui, WANG Xiaolei, SU Xianbao. Comparison of one-dimensional river water temperature model and empirical formula method in upper reaches of Yellow River [J]. Water Resources Protection, 2019, 35(4): 24-29. (in Chinese))
- [20] 左其亭, 张志卓, 吴滨滨. 基于组合权重 TOPSIS 模型的黄河流域九省区水资源承载力评价[J]. 水资源保护, 2020, 36(2): 1-7. (ZUO Qiting, ZHANG Zhizhuo, WU Binbin. Evaluation of water resources carrying capacity of nine provinces in Yellow River Basin based on combined weight TOPSIS model [J]. Water Resources Protection, 2020, 36(2): 1-7. (in Chinese))